

樹林帯を伴う交互砂州の河床変動について

徳島大学大学院 学生員 ○岸本哲佳
 徳島大学大学院 正会員 武藤裕則
 徳島大学大学院 正会員 田村隆雄

1. はじめに：交互砂州が形成された河道内に樹木群落が発達した状態は、人間の活動による洪水調節、砂防事業などが行われ、河川の置かれている条件が変化した結果引き起こされたものである。樹木群落の存在は、濬筋の深掘れや水流の蛇行を生み、治水・環境上の問題を引き起こす恐れがある。その一方で、河畔生物の生息・生育空間を作り上げていることは無視できない。そこで、本研究では樹木群落を保全しながら砂州の変動する河川環境を取り戻すことを目的に、樹木管理の方法として伐採を想定した密度・面積の異なる樹木群落モデルを作製し、流況および河床変動を計測し、樹木の繁茂条件の変化に伴う河道の変動を検討した。また、今後の樹木管理を念頭に、樹木群を有する流れと河床変動を適切に予測・再現可能な河床変動モデルを構築し、実験結果と比較し、再現性の検証を行った。

2. 実験概要：実験では、長さ 13.6m、幅 0.5m、路床勾配 1/200 の矩形直線水路に平均粒径 1mm の一様砂を厚さ 15cm にわたって敷き詰めた。樹木群落モデルについては、国土交通省徳島河川国土事務所が撮影した吉野川航空写真(H19年12月-H20年1月)から群落の形状・寸法を読み取り、図1のように実験水路に縮尺を合わせ、図2のように水路側面に沿って左右交互に 1.2m 間隔で 8 つ配置した。なお、赤い四角で囲まれた範囲が PIV 測定範囲である。樹木モデルには、灌木のような非水没型の樹木を対象とし、直径 2.0mm、長さ 22cm の竹ひごを使用した。群落面積および樹木密度の条件を表1に示す。ここで、樹木密度 λ : 直径 (cm)/樹木間隔²(cm²)としている¹⁾。実験条件は、定常流量 8.36l/s、水深 4.65cm、摩擦速度 4.4cm/s、無次元掃流力 0.12、無給砂とし、

通水開始 30 分ごとに 3 時間までの河床形状を測定した。

3. 平面 2 次元河床変動計算モデル：本研究で用いた数値計算モデルの基礎式を(1)~(6)に示す。F_x, F_y : 植生抵抗 (F_{x or y} = 1/2C_D λ (u_{or v})(u²+v²)^{1/2}) である。また、式(4), (5)は斜面上の流砂方向を考慮した掃流砂量式であり、q_{bx}, q_{by} : x, y 方向における流砂量、β : 流砂の移動方向の偏角である。計算格子はデカルト座標系における定型直交格子を用い、変数配置は圧力振動を抑えることのできるスタッガード配置を用いた。離散化方法として、移流項は計算を安定させるために CIP 法を参考に考案した手法を用いた。その他の空間微分項は、2次元精度の中央差分、時間については陽的な leap-frog 法を用いた。

4. 実験結果：Case0 の 3 時間後の河床変動量を示した図3より、Case0 では、樹木群落前面で深掘れが生

表 1 樹木群落モデルパターン

	Case	樹木間隔s(cm)	群落面積A(cm ²)	樹木密度λ (cm ⁻¹)
	Case0	縦・横 2cm	1440cm ²	0.05cm ⁻¹
密度変化	CaseD1	縦・横 4cm	1440cm ²	0.0125cm ⁻¹
	CaseD2	縦 4cm 横 8cm	1440cm ²	0.00625cm ⁻¹
面積変化	CaseA1	縦・横 2cm	750cm ²	0.05cm ⁻¹
	CaseA2	縦・横 2cm	900cm ²	0.05cm ⁻¹

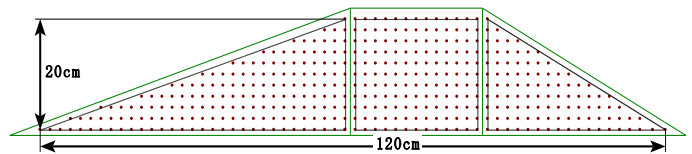


図 1 樹木群落モデル (Case0)

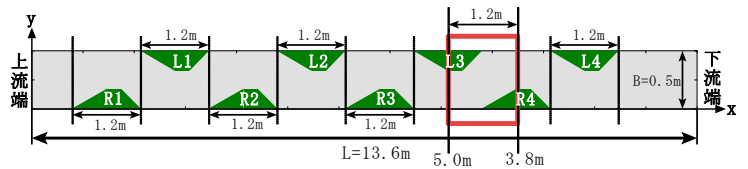


図 2 実験水路

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial Mu}{\partial x} + \frac{\partial Mv}{\partial y} = -gh \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) - F_x \tag{2}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial Nu}{\partial x} + \frac{\partial Nv}{\partial y} = -gh \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) - F_y \tag{3}$$

$$q_{Bx} = q_B \left\{ \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \beta + 1}} \cos \theta_\xi - \frac{\tan \beta}{\sqrt{\tan^2 \beta + 1}} \cos \theta_\zeta \cdot \tan \theta_\eta \cdot \sin \theta_\xi \right\} \tag{4}$$

$$q_{By} = q_B \left\{ \frac{\tan \beta}{\sqrt{\tan^2 \beta + 1}} \cos \theta_\zeta (\cos \theta_\xi + \tan \theta_\eta \cdot \sin \theta_\xi) \right\} \tag{5}$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \tag{6}$$

じており、水路中央を蛇行する滯筋が形成され、樹木群落内部および下流側で土砂が堆積した。このため、樹木群境界部で河床位の高低差が生まれ、エコトーンの喪失が懸念される結果となった。河床変動カウンター図と流速ベクトル図を合わせた図4より、Case0では樹木群落模型を避けるような蛇行した流れが形成されていることがわかる。また、樹木群落L3の内部および下流側に死水域が形成され、そこで土砂の堆積が確認できる。これらから、①樹木群を避けるような水路中心部の蛇行した流れに沿って洗掘が起こり滯筋を形成していること、②樹木群内部で流れは減速し土砂を樹木群内部および下流側に堆積させていること、が伺える。また、樹木群内外の流速差 Δu と樹木密度 λ および群落面積Aの関係を示した図5より、

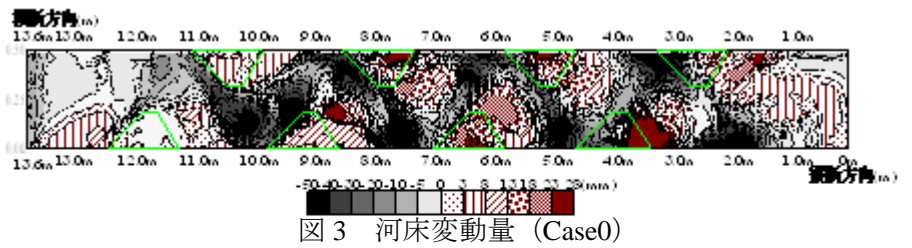


図3 河床変動量 (Case0)

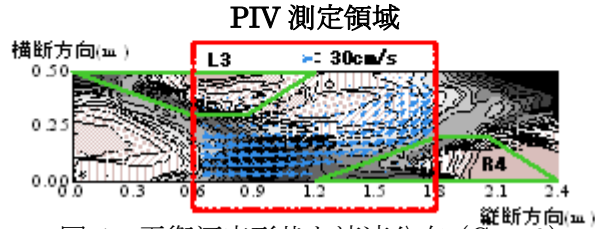


図4 平衡河床形状と流速分布 (Case0)

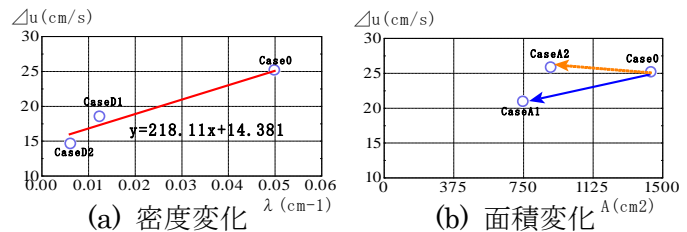


図5 樹木群近傍流速差 Δu と樹木密度 λ および群落面積Aの関係

λの増加に伴い Δu が増加する関係性が見られた。このことから、樹木密度の減少は蛇行流れを抑える効果があると考えられる。しかし、面積変化では、減少後の樹木群の形状によって流速差の変化傾向が異なる結果となった。

5. 数値計算結果：図4に示した結果から、数値計算においては、樹木群落後方に後流域を考慮する必要があると示唆される。そこで本研究では、後流域の設定として、PIV解析結果に基づいて横断速度勾配の最大部を繋ぎ後流域の境界とした。Case0を対象として、後流域の考慮の有無を比較したものが図6である。後流域を考慮した数値計算結果では、後流域を考慮していない数値計算結果と比べ蛇行流れが急であり、死水域と樹木群落前面の洗掘域の再現性は高いと言える。しかし、実験結果のほうが洗掘深が大きく、また、数値計算結果では堆積域の再現がされていないことから、流速分布の再現、精度の向上および流砂量と流砂の移動方向を見直す必要がある。

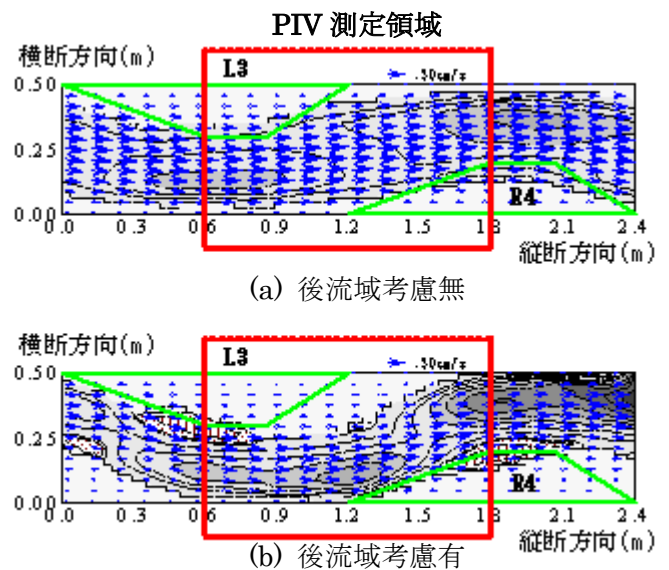


図6 数値計算結果

6. **まとめ**：本研究で行った河床変動実験およびPIV解析の結果から、樹木群落内部および下流側に形成される死水域の存在により流況が変化し、それに伴って河床変動が生じていることが明らかとなった。さらに、樹木密度 λ と樹木群近傍の流速差 Δu に関係性が見られ、今後の樹木管理に役立たせることができると考えられる。また、数値計算結果では後流域を考慮したことで、実験結果の再現性は高まったが、樹木群落域の土砂堆積の再現に課題が残った。

7. **参考文献**：1) 清水義彦, 辻本哲郎, 北村忠紀：植生に覆われた砂州上の流れの浮遊砂濃度分布, 水工学論文集, 第35巻, pp. 477~482, 1991.